

H形断面鋼短柱の高温時の圧縮実験

正会員○岡部 猛*1 同 安部武雄*2

3. 防火—7. 金属系構造部材の耐火性 建築構造

高温圧縮試験, H形断面鋼短柱, 局部座屈, 高温クリープ, 残余耐力

1. はじめに

鉄骨柱材の耐火性能を調べる目的で、溶接組立H形断面鋼短柱の一定高温時下の圧縮試験(stub-column test)を行った。この試験の結果により、局部座屈を伴うH形断面鋼短柱の高温時の挙動特性を明らかにすることができる。

また、今回の短柱試験体の断面寸法、鋼材料は、過去に行った両端ピン支持された溶接組立H形断面鋼柱材の一定高温時の中心圧縮試験¹⁾と同じものであり、溶接組立された鋼柱材と鋼材料の関係を分析する上で有用な資料となる。

2. 試験体及び実験方法

図-1は実験装置の概要である。反力を受けるための鋼製フレーム中に油圧ジャッキ、ロードセル、圧縮用棒材、試験体、球座を組込み、柱試験体の周囲を円筒型の電気炉(内法30cm、高さ100cm)で覆ったものである。球座は試験体セット時に荷重の偏芯を調整でき、かつ載荷時は球座の回転を止めることができる構造となっている。実験は平押し条件で行った。

試験体に加わる軸力 P はロードセルで測定し、試験体の軸方向の伸縮 U は試験体両端に溶接したエンドプレート(板厚26mm)にステンレス棒を取付けて炉外に取出し、差動変位計で測定した。

表-1に試験体の寸法と実験温度を、表-2に柱試験体に用いた鋼材の常温時の機械的性質を示す。

試験体はH形断面鋼短柱であり、材長は材幅の3倍とした。また、局部座屈の影響を見るため、2種類の幅厚比 $b/t=6.7$ と 10 を設定した。試験体は溶接組立により作製されており、初期たわみは3次元座標読取装置により、残留応力はひずみゲージを用いた切断法により測定されている¹⁾。実験温度は常温、400、500、600、700℃の5種類とした。なお、高温クリープ現象が顕著となり、載荷速度の影響が大きいと思われる

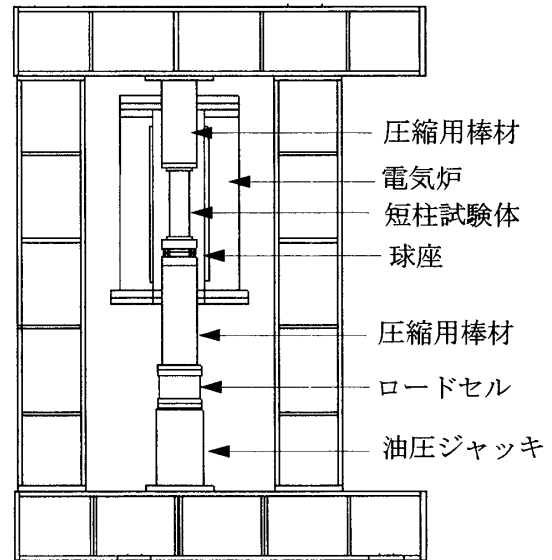


図-1 高温圧縮試験装置

表-1 H形断面鋼柱試験体

試験体断面(mm)	材長(mm)	幅厚比	実験温度(℃)
H-120x120x6x6	360	10	RT, 400, 500, 600, 700
H-120x120x6x9	360	6.7	RT, 400, 500, 600, 700

表-2 試験体鋼材の機械的性質

鋼種	板厚	$\sigma_{y,RT}$	$\sigma_{u,RT}$
JIS G3136	(mm)	(MPa)	(MPa)
SN490B	6	400	559
SN490B	9	375	547

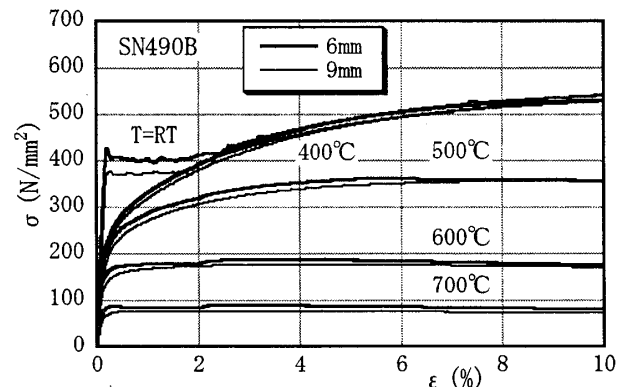


図-2 試験体鋼材の応力ひずみ関係

Stub Column Test of H-Section Columns at High Temperature

OKABE Takeshi and AVE Takeo

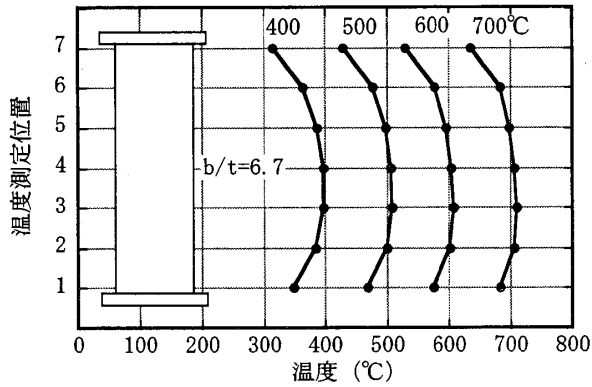


図-3 実験時の温度分布 (b/t=6.7)

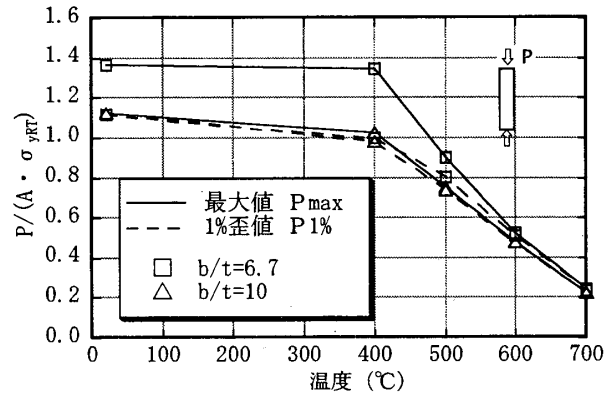


図-5 最大荷重とひずみ1%時の耐力

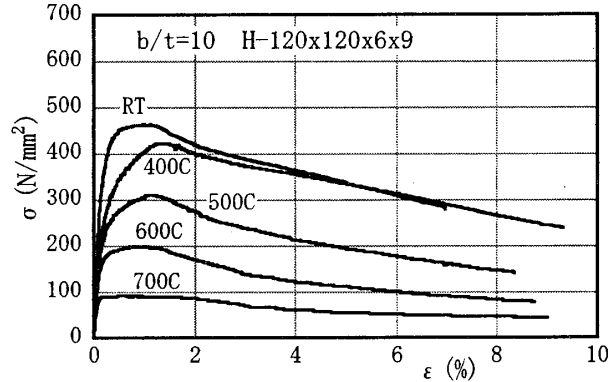
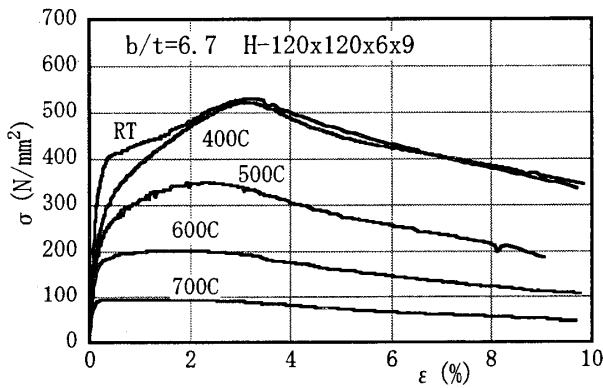


図-4 軸荷重P-軸変形U関係

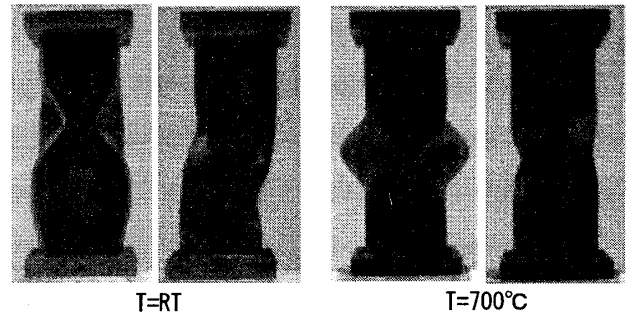


図-6 実験後の試験体の状況 (b/t=10)

3.1 短柱圧縮試験の結果

図-3に高温圧縮実験時の試験体の材長方向の温度分布を示す。ボール盤により試験体の鋼板中心部に達する小穴を設け、直径1.6mmのシース型の熱電対を挿入し、板厚中心温度を測定した。実験治具の熱容量等の影響により、試験体の端部は中央部より50~90℃程低い温度となっている。また、最大温度となる部分は試験体の中央部(測定点4)よりも下側(測定点3)に片寄る傾向がある。

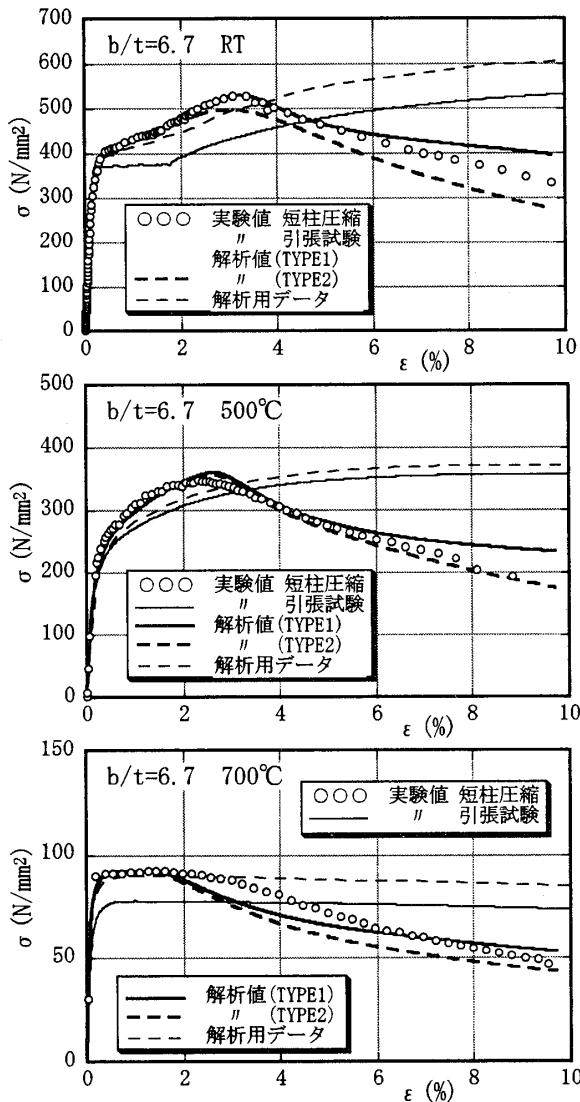
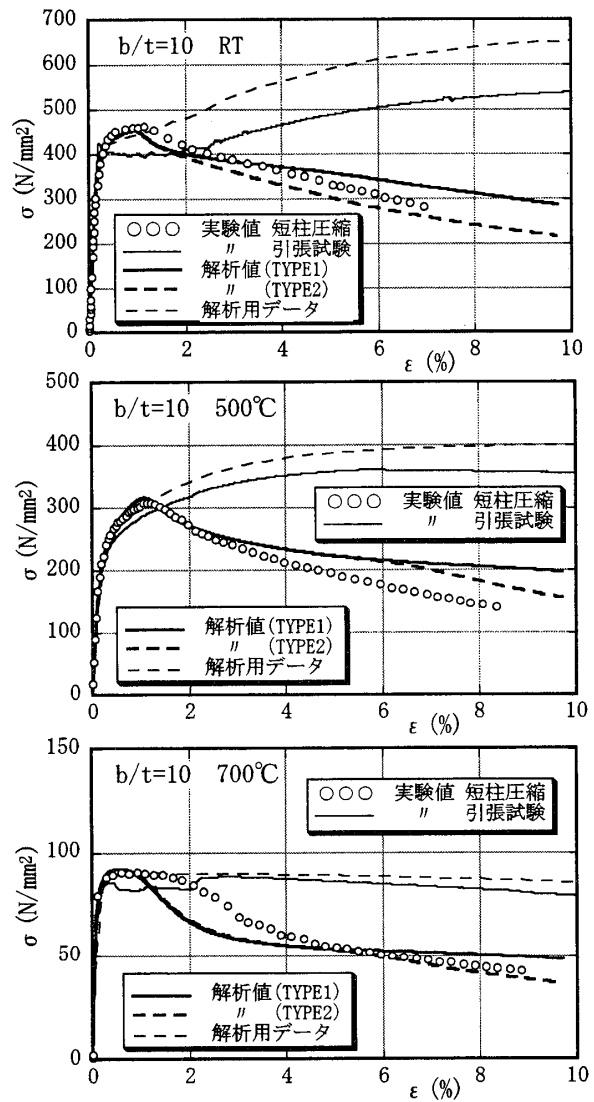
図-4に、実験で得られた軸荷重P-軸変形U関係を応力・ひずみの関係で、図-5に最大荷重 P_{max} や1%ひずみ時の荷重 $P_{1\%}$ と温度 T の関係を、図-6に実験後の試験体の様子を示す。

図-4より、温度により最大荷重が低下する様子や、幅厚比の違いによる荷重・変形関係の差異の様子が分かる。なお、b/t=6.7の試験体は軸ひずみ3%程度で、b/t=10の試験体は軸ひずみ1%程度で荷重低下が始まっている。従って、b/t=6.7試験体の常温と400℃での最大荷重 P_{max} は、ひずみ硬化の影響によりb/t=10試験体のそれよりも高くなっている。また、b/t=10試験体の最大荷重 P_{max} と全ての1%ひずみ時の荷重 $P_{1\%}$ に

600, 700℃の場合は、実験中に1秒間隔で試験体の軸方向伸縮 U をモニターし、平均軸ひずみ速度が1.0~1.5(%/分)となるように載荷した。

図-2に一定温度下の引張試験による試験体鋼材の応力・ひずみ関係を示す。板厚6mmの応力・ひずみ関係は9mmのそれより幾分高めになっているが、400℃では大きなひずみ硬化を示し降伏棚が消滅すること、500℃以上では急激に耐力が低下すること、600℃以上ではひずみ硬化が小さいこと等、普通鋼材に典型的な温度依存性を示している。

3. 実験結果および考察


 図-7 軸荷重 P -軸変形 U 関係($b/t=6.7$)

 図-8 軸荷重 P -軸変形 U 関係($b/t=10$)

殆ど差はない。

また、鋼板の応力・ひずみ関係(図-2)と短柱の応力・ひずみ関係(図-4)の常温時の初期降伏域から塑性域の挙動を比較すると、後者に残留応力による曲線部分と強度の上昇が見られる。これらは短柱試験体の溶接組立の影響によるものと考えられる。

3.2 数値解析モデルによる実験のシミュレーション

数値解析は汎用有限要素解析プログラムABAQUSによる弾塑性大変形解析である。解析モデルは、短柱のフランジとウェブ板要素をそれぞれ幅方向に12分割、材長方向に36個分割した位置に解析節点を設け、4節点シェル要素(S4R)で構成した。試験体の両材端の断面に位置する節点は剛棒で連結し相対移動を止めた。

また、図-6の実験結果を考慮して、解析モデルの境界条件として試験体の下端の水平移動を許さない場

合(TYPE-1)と許す場合(TYPE-2)の2種類を設定した。なお、3次元座標読取装置による測定値を直接節点座標に用いることで短柱の初期不整を考慮した。

材料定数は、ひずみ2%程度までは $b/t=6.7$ の短柱圧縮試験から得られた平均応力・ひずみ関係を、ひずみ2%以降は板厚9mmの鋼板の引張試験から得られたそれを繋いで設定した。従って、残留応力と溶接組立による強度上昇は平均的な意味で応力・ひずみ関係に考慮されている。応力・ひずみ関係は真応力-真ひずみの関係に変換し、その塑性部分をmulti-linear型で入力している。ポアソン比はすべての温度で0.3とした。

この数値解析結果を図-7、8において実験結果と比較している。実験値と解析値は概ね対応しているが、大きなひずみ域では、実験値はTYPE-2の解析値に近づく傾向がある。なお、高温域(700°C)の最大応力以降の応力

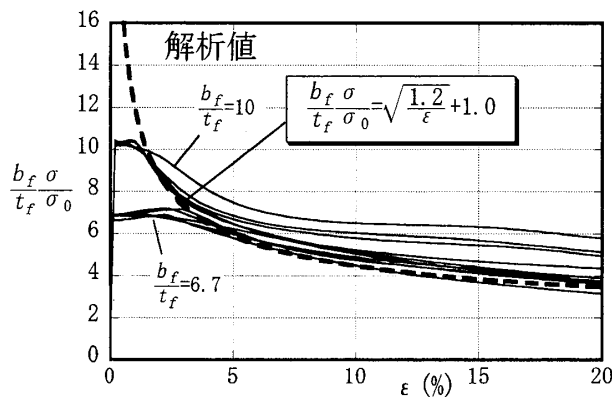
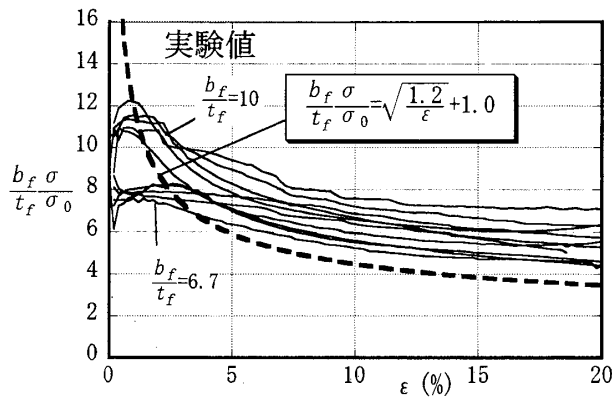


図-9 H形断面短柱の高温局部座屈後挙動

低下の傾向は、解析値の方が実験値よりも急激である。これは高温クリープの影響と考えられる。このように、有限要素解析による解析結果は妥当である。

3.3 柱の高温局部座屈後の残余耐力

図-9にはH形断面鋼短柱の高温圧縮試験結果と有限要素法によるTYPE-2の解析モデルの計算結果を文献2,3)に倣って示した。文献2,3)では、上記の表現による結果は鋼材温度や幅厚比に関係なく図-9中に太破線で示される一本の曲線式(残余耐力式)に収束することが示されている。

図-9の横軸 ϵ は局部座屈全波形成部の平均圧縮ひずみであり、縦軸の B/t , σ , σ_0 は、H形断面短柱の幅厚比、一定温度下のひずみ ϵ 時の短柱の平均圧縮応力、および同一温度下およびひずみ時の引張試験片が示す引張応力である(図-10参照)。ただし、短柱試験体の平均圧縮ひずみは、最大応力までは材長で、最大応力以降は柱幅で軸変形増分を除いて求めた。また、実験値の σ_0 には図-7,8の細実線(引張試験結果)を、解析値の σ_0 には細破線(数値計算に用いた単軸の応力

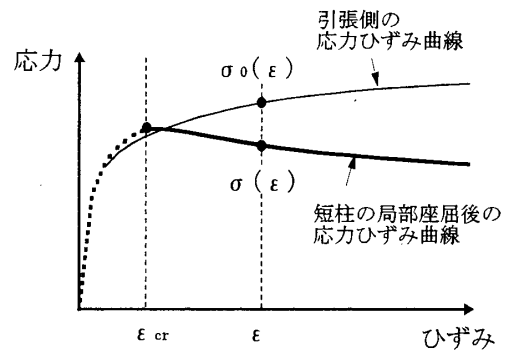


図-10 H形断面短柱の局部座屈残余耐力(実験結果)

ひずみ関係)を用いた。

図-9上図(実験結果)より、実験値のバラ付きの幅は比較的大きいが残余耐力式は実験値の下限を表しているといえる。また、図-9下図(解析結果)より、計算値の挙動は残余耐力式で精度よく表されることが分かる。前者のばら付きの理由は溶接組立による短柱試験体の強度上昇の影響が考えられる。図-7,8の細実線と細破線の違いを見ると分かるように、溶接組立の影響によって短柱試験体の強度は鋼板の引張試験の降伏強度より高くなっている。図-9上図で短柱の σ を除いた引張試験の σ_0 には溶接による強度上昇はないので、 $b/t \cdot \sigma / \sigma_0$ の値は残余耐力式を上回る。

4. むすび

溶接組立H形鋼短柱の高温時圧縮試験を行い、局部座屈を伴う軸圧縮挙動の実験資料を得た。また、数値解析を行い、文献2,3)等で示されている残余耐力式の妥当性を実験的解析的に検討した。

謝辞 本研究は、平成18年度科研費・基盤研究(A)(1)「火災加熱を受ける鋼骨組のシステムとしての構造安定性と火災時リダンダンシー」(研究代表者：鈴木弘之・筑波大学教授)の一環として行いました。また、社団法人日本鉄鋼連盟より試験体用の鋼材の支給を受けました。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献

- (1) 岡部猛他2名：H形断面鋼柱材の高温時の中心圧縮実験、日本建築学会研究報告九州支部第45号・1、497-500、2006年3月、(2) 瀬川貴志他3名：火災加熱を受ける鋼構造骨組の崩壊温度(その5 箱型断面柱鋼短柱の高温時応力〜ひずみ関係)、日本建築学会大会学術講演梗概集(防火)、pp.1371~1372、1993.9、(3) 平島岳夫他3名：耐火鋼を用いたH型・溝型断面部材の圧縮変形性能、日本建築学会関東支部研究報告集(構造系)、pp.197~200、1995

*1 熊本大学大学院自然科学研究科 准教授・工博
*2 東京工業大学建築物理研究センター 准教授・工博

*1 Assoc. Prof., Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.
*2 Assoc. Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.